

從水源到米質：宜蘭、花蓮與臺東稻作區灌溉水質的公開監測分析 與水—土—米鏈結研究設計

2026-07-13 修訂說明

本次修訂項目：法律風險揭露及用語精確化。未更動原始統計數值、分析程式或研究結果。

版本紀錄

v1.0 (2026-07-12) 初版公開；v1.1 (2026-07-13) 法律風險揭露及用語精確化。

AI 使用聲明

生成式AI (OpenAI Codex) 協助資料整理、程式、語言起草、版面與網站製作；AI不列為作者。作者周秉漢負責研究設計、來源核對、分析解讀、公開版本與後續更正。

利益衝突

作者經營白米相關商業網站，可能因稻米與水質議題之關注度而間接受益；本研究只使用公開水質監測資料。

本篇特定限制

本研究目前僅分析公開水質監測資料，未採集或檢測稻米、稻穀、灌溉土壤或農產品。結果不代表特定地區稻米受到污染、不符合食品安全標準或品質較差；個別極端數值均視為待查核異常值。

研究範圍聲明

本研究僅描述指定來源於標示擷取日期可觀察之公開資訊。『未觀察到』或『未揭露』不表示相關個人、企業或機構實際未提供該能力、未遵守法令、服務品質較差或存在違法情形。本文不構成企業排名、法令遵循判定、投資、醫療、法律或交易建議。

第三方權利及授權聲明

除另有標示外，CC BY 4.0僅適用於作者有權授權的原創分析、文字編排、研究程式及原創圖表。第三方名稱、商標、網址、資料、圖片、文字摘錄及其他內容，仍依原權利人或來源授權條款使用，不因收錄於本研究而改以CC BY 4.0授權。

更正申請聲明

本研究依特定日期可取得的公開資訊製作。被提及之個人、企業或機構如認為資料有誤、已更新或缺乏必要脈絡，可提供具體來源申請更正。作者核實後將依版本政策修訂並保留修訂紀錄。

公開聯絡	handson0102@hotmail.com
作者	周秉漢 / CHOU, BING-HAN
ORCID	0009-0000-7018-5096
本版本 DOI	https://doi.org/10.5281/zenodo.21338912
上一版本 DOI	https://doi.org/10.5281/zenodo.21316765
固定網址	https://bento24235111.com/research-journal/water-soil-rice-linkage

從水源到米質：宜蘭、花蓮與臺東稻作區灌溉水質的公開監測分析與水—土—米鏈結研究設計

From Irrigation Source to Grain Quality: Public Monitoring Analysis and a Water–Soil–Rice Linkage Design for Yilan, Hualien, and Taitung, Taiwan

周秉漢 / CHOU, BING-HAN

ORCID: 0009-0000-7018-5096 • handson0102@hotmail.com

2026-07-12 • 公開研究工作論文 | CC BY 4.0 | 第一階段公開資料分析完成 | 第二階段待田間與實驗室採樣

證據邊界

第一階段已完成14,784筆官方灌溉水監測分析；土壤與稻米檢測是第二階段研究計畫，尚未採樣。
本稿不宣稱已證明溫泉灌溉、地熱因果效果或米質差異。

第一階段研究限制

本研究目前僅分析公開水質監測資料，未採集或檢測稻米、稻穀、灌溉土壤或農產品。本研究結果不代表特定地區稻米受到污染、不符合食品安全標準或品質較差。個別極端測值亦可能涉及資料登錄、測站狀態或短期環境變化，尚須由主管機關及現地採樣確認。

摘要

本研究以臺灣農田水利局宜蘭、花蓮與臺東管理處公開網頁為資料源，建立2020年1月至2026年4月之灌溉水監測資料庫，共14,784筆觀測、410個工作站—監測點組合，分析水溫、pH與25°C導電度（EC）的區域、季節與年度差異。為降低監測頻率不均造成的權重偏差，主要區域比較以各監測點歷年中位數等權進行。結果顯示，監測點EC中位數依序為宜蘭290.75、花蓮380.00、臺東502.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；pH中位數分別為7.55、8.22與8.25；水溫中位數分別為24.4、23.2與23.8°C。三項指標之Kruskal-Wallis檢定均達統計顯著，但這些差異僅能描述水質基線，不能證明地熱來源、因果機制或稻米品質效果。依公開門檻，EC高於750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之觀測比例為宜蘭0.12%、花蓮0%、臺東2.21%；pH超出6.0–9.0者僅臺東2筆。研究並提出第二階段前瞻性設計：三縣各設地熱／礦化候選暴露與河川參考組，每層10處稻田，共60處、追蹤兩期作；同步檢測灌溉水完整離子與元素、土壤化學及稻米理化、食味與砷鎘指標，並以多層次模型與水—土—米路徑分析檢驗鏈結。本稿的實證結論限於第一階段公開水質資料；所有尚未實測的土壤與稻米指標均標示為研究計畫，不虛構檢測結果。

Abstract

This study compiles 14,784 publicly reported irrigation-water observations from 410 station-monitoring-point combinations in Yilan, Hualien, and Taitung, Taiwan, covering January 2020 through April 2026. Water temperature, pH, and electrical conductivity standardized to 25°C (EC) are examined across regions, seasons, and years. To reduce bias from unequal monitoring frequency, the primary regional comparisons assign equal weight to each monitoring point using its longitudinal median. Site-level median EC was 290.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in Yilan, 380.00 in Hualien, and 502.00 in Taitung; median pH was 7.55, 8.22, and 8.25, respectively; and median temperature was 24.4°C, 23.2°C, and 23.8°C. Kruskal-Wallis tests detected regional differences in all three indicators, but these descriptive contrasts do not identify geothermal sources, causal mechanisms, or grain-quality effects. EC exceeded 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in 0.12% of Yilan, 0% of Hualien, and 2.21% of Taitung observations. The paper therefore specifies a prospective Phase 2 design covering 60 paddies across candidate mineralized/geothermal and river-water reference strata, observed for two crop seasons, with linked water, soil, and grain measurements. Current empirical claims are restricted to public water monitoring; unmeasured soil and grain outcomes are explicitly presented as a protocol, not results.

關鍵詞：灌溉水質、稻米品質、宜蘭、花蓮、臺東、導電度、水土米鏈結、砷、鎘、研究設計

一、研究背景與問題

東臺灣稻米常以水源、土壤與產地風土作為品質敘事，但水源名稱並不同化學暴露。宜蘭官方資料指出主要灌溉水源為蘭陽溪、宜蘭河、得子口溪、冬山河、新城溪與南澳溪等河川，並輔以伏流、湧泉、地下水及回歸水；花蓮以花蓮溪、秀姑巒溪及其支流為主；臺東官方則明載灌區皆屬河川取水型態，卑南溪水系為最大宗。因此，不能把宜花東整體標記為「溫泉水灌溉」，而應以現地水溫、離子組成、元素濃度、源水追蹤與空間位置定義可能的地熱或礦化影響。

灌溉水可能透過根域溫度、鹽分、養分可利用性、氧化還原狀態及元素移動性影響稻作；土壤則可能介導或緩衝這些影響。米質同時受品種、期作、氮肥、氣溫、成熟度、乾燥及碾米方式控制。若缺少同步水、土、米採樣與控制變數，單憑縣市差異無法將米質歸因於水源。

本研究採兩階段架構。第一階段回答公開監測資料能支持的問題：三地水溫、pH與EC有何分布與變化？第二階段則將使用配對田區與實驗室檢測，驗證水化學是否經土壤特性連結至稻米品質與食安元素。本稿完成第一階段實證分析並鎖定第二階段可執行的採樣、檢測與統計計畫。

二、研究問題與可檢驗假說

RQ1：2020–2026年間，宜蘭、花蓮與臺東公開灌溉水監測點的水溫、pH與EC分布是否不同？RQ2：區域排序在監測點等權與共同年度限制下是否穩健？RQ3：官方灌溉水質門檻的超出情形集中在哪些地區與監測點？

第二階段H1：以離子與元素建立的水化學主成分，而非縣市名稱，可預測土壤鹽分、pH、交換性陽離子與可利用態元素。H2：控制品種、期作、施肥、成熟度及加工後，水化學與土壤中變數仍與蛋白質、直鏈澱粉、白堊質、完整米率、RVA及食味值相關。H3：水與土壤砷、鎘及氧化還原條件可預測糙米與白米元素濃度。

所有假說均預先區分探索性與驗證性分析。縣市比較是描述性分層，不被視為地熱暴露代理；地熱／礦化候選組必須由水溫、EC、主要離子、B、Si、As及水源地理資料共同判定。

三、第一階段資料與可重現蒐集

資料來自農田水利署三個管理處的灌溉水質資訊頁。程式逐頁擷取工作站、監測點名稱、採樣日期、水溫、pH與EC，保留來源頁碼及永久可追查網址。擷取範圍為宜蘭575頁、花蓮245頁、臺東180頁，依日期篩選2020-01-01至2026-06-30；實際更新日期分別為2026-03-25、2026-04-21與2026-04-30。共取得14,784筆，缺頁0、核心欄位缺值0、完全重複0。

監測點識別碼由縣市、工作站與監測點名稱串接，得到宜蘭236、花蓮98、臺東76個組合，共410個。原始資料不刪期待查核異常值。兩筆宜蘭五股三號抽水機EC為10,230與10,360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，被列為物理合理性／資料來源查核旗標；它們保留在主資料與門檻統計，並在排除EC大於5,000的敏感度資料中移除。

公開資料只含水溫、pH與EC，不含鈉、鈣、鎂、鉀、氯鹽、硫酸鹽、碳酸氫鹽、矽、硼、砷、鐵、錳，也沒有田區土壤與米質結果。因此第一階段不能完成完整水—土—米因果鏈；這個缺口正是第二階段田間研究的理由。

圖1 水—土—米研究鏈與目前證據邊界



Phase 1 describes water monitoring; it does not estimate water-to-grain causality.

資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

四、第一階段統計方法

描述統計報告觀測層級的中位數與四分位距。主要地區推論先把每個監測點壓縮為歷年中位數，使各點等權，再以Kruskal-Wallis檢定三地分布；效果量採epsilon squared。各地監測點中位數以5,000次非參數bootstrap估計95%信賴區間，隨機種子固定為20260712。

門檻分析依官方頁面所列灌溉水質標準：pH 6.0–9.0、EC不高於750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C)。門檻超出率按觀測計算，屬監測紀錄描述，不等於田區暴露比例、違規裁定或健康風險。

敏感度分析限制於2022–2025共同完整年度、排除廣義物理合理性旗標，再次計算監測點等權中位數。由於採樣排程、監測點選址與工作站密度不同，本研究不將p值解讀為隨機抽樣母體推論，重點放在效果量、分布與結果穩健性。

五、結果

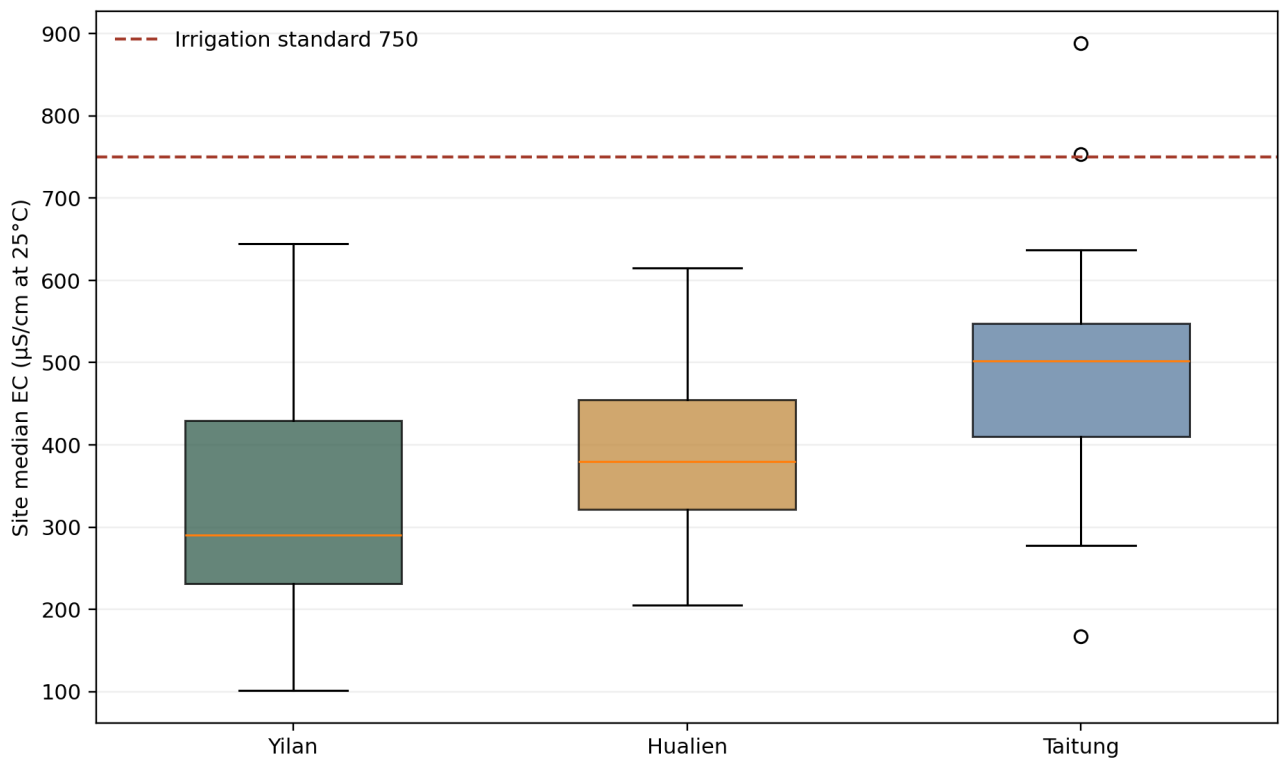
觀測層級水溫中位數（四分位距）為宜蘭24.4°C (20.9–27.2)、花蓮23.1°C (21.0–25.3)、臺東23.9°C (21.0–27.0)。監測點等權中位數依序為24.4、23.2、23.8°C；地區差異 $H=62.21$ ， $p<0.001$ ，epsilon squared=0.148。月別曲線顯示明顯季節性，因此水溫高值不能單獨作為地熱證據。

觀測層級pH中位數為宜蘭7.57、花蓮8.20、臺東8.24；監測點等權中位數為7.55、8.22、8.25， $H=155.95$ ， $p<0.001$ ，epsilon squared=0.378。pH超出6.0–9.0者僅臺東2筆，占臺東觀測0.075%，其餘兩地為0。

觀測層級EC中位數（四分位距）為宜蘭290 (217–425)、花蓮379 (318–468)、臺東493 (402–567) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。監測點等權中位數為宜蘭290.75 (bootstrap 95% CI 273.00–310.25)、花蓮380.00 (358.99–418.00)、臺東502.00 (481.25–520.00)， $H=86.08$ ， $p<0.001$ ，epsilon squared=0.207。EC高於750之紀錄為宜蘭10筆 (0.116%)、花蓮0筆、臺東59筆 (2.212%)。

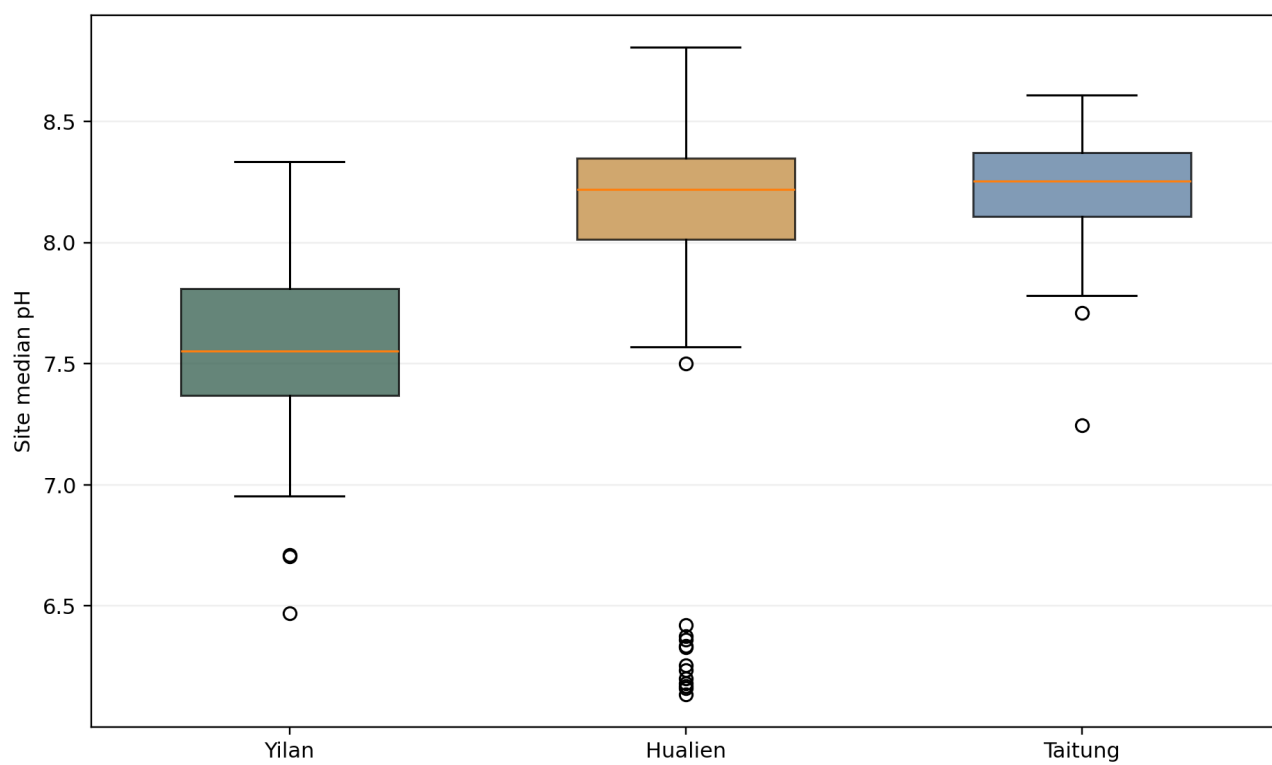
限制於2022–2025並排除合理性旗標後，監測點等權EC中位數為宜蘭289.5、花蓮385.75、臺東499.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；pH為7.575、8.25、8.29；水溫為24.3、23.175、23.8°C，主要區域排序不變。這支持三地公開水質基線不同，但無法說明差異來自地質、海鹽、地下水、回歸水、季節或其他來源。

圖2 監測點等權的EC分布與官方門檻



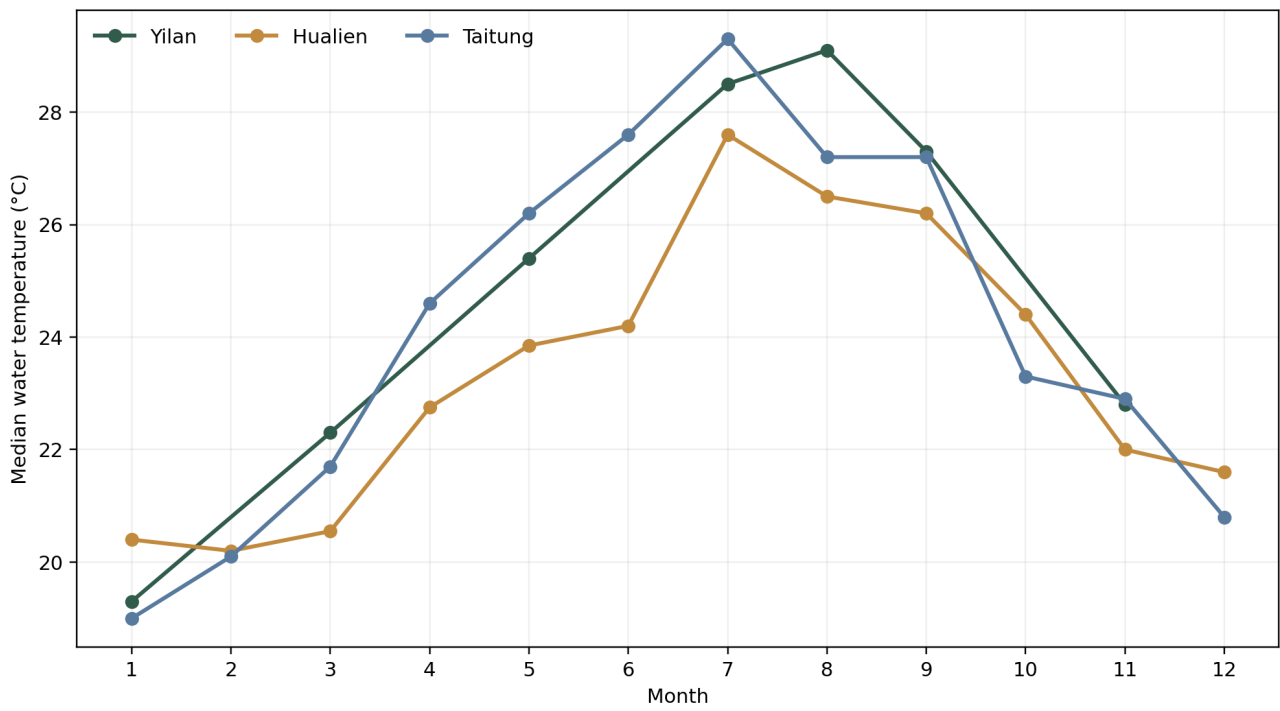
資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

圖3 監測點等權的pH分布



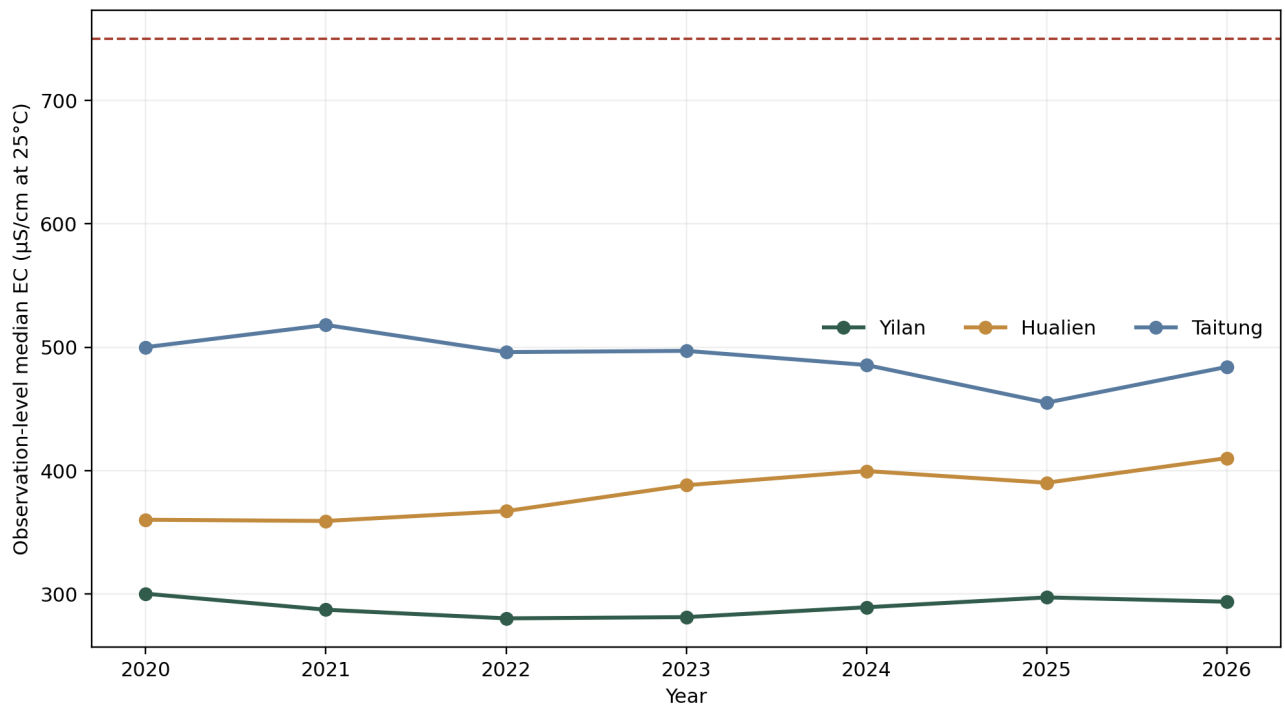
資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

圖4 三地灌溉水溫的月別中位數



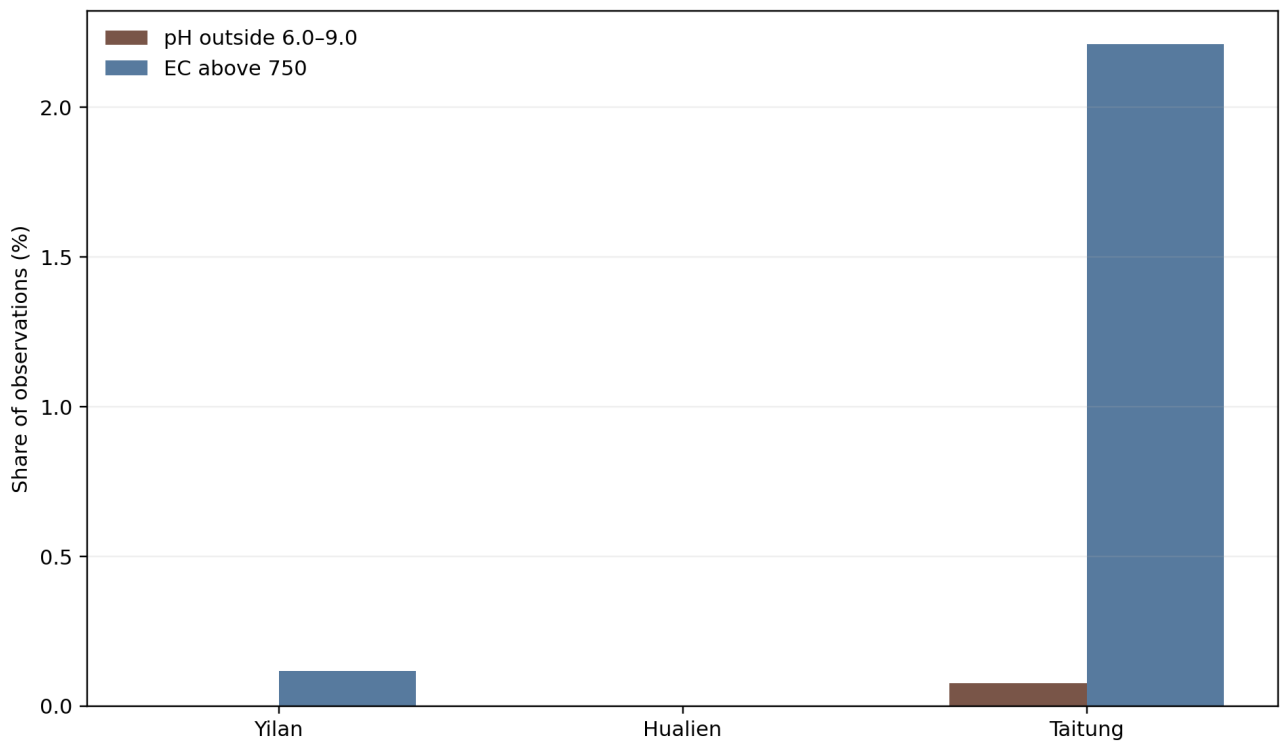
資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

圖5 三地EC年度中位數



資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

圖6 pH與EC門檻超出觀測比例



資料來源：本研究依農田水利署公開監測資料計算。

六、第二階段水—土—米實地研究設計

採樣框架採三縣×兩種水源暴露層×10處稻田，共60處。暴露層不是預先以「溫泉鄉鎮」命名，而是先用水源圖、灌溉渠道、泉／地下水紀錄與偵察採樣，建立候選礦化／地熱影響組及鄰近河川參考組。每處田區追蹤兩期作；同一田區固定進水點、土壤採樣格網及收穫小區。若無法在同一品種內配對，則按品種分層並在模型控制。

灌溉水在整地、分蘖、孕穗及灌漿期各採一次，現場量水溫、pH、EC、溶氧與氧化還原電位；實驗室分析Na、Ca、Mg、K、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、Si、B、As、Fe、Mn，並記錄採樣時間、流量、降雨及保存程序。元素分析設現場空白、運送空白、重複樣、加標回收與認證參考物質，至少10%樣本為品質控制。

土壤於插秧前與收穫後，在0–15 cm以五點混合樣採集，測pH、有機質、CEC、EC、粒徑、總量與可利用態元素，並於關鍵生育期量測土壤溶液及氧化還原狀態。稻米在固定成熟度與收穫含水率採樣，統一乾燥、儲藏與試驗碾米；測蛋白質、直鏈澱粉、白堊質、完整米率、RVA糊化特性、食味值、香氣指標，以及糙米／白米As與Cd。

控制變數包含品種、期作、播插秧與收穫日、氮磷鉀施用量及分次、氣溫與降雨、土壤質地、收穫成熟度與含水率、乾燥溫度／時間、儲藏天數、碾米機與精白度。採樣人員與實驗室樣本編號分離，米質測定盡可能盲化。

七、第二階段統計與功效規劃

主要暴露不使用單一EC替代，而以預先指定離子比例、B、Si、As、溫度及EC建立水化學指標與主成分。主要結果預先限定為糙米無機砷／總砷、鎘、白堊質、蛋白質、直鏈澱粉及食味值；RVA、香氣與完整米率列為次要結果，降低多重比較風險。

多層次模型以田區為隨機截距，期作為重複量測：米質=水化學指標+土壤指標+縣市+期作+品種+施肥+氣象+成熟度+加工條件+(1|田區)。水→土→米的間接路徑以多層次中介／結構方程模型估計並以cluster bootstrap給信賴區間。對砷鎘等偏態結果預先採對數轉換或適當廣義模型。

60處田區、兩期作提供120個田區一期作觀測，但有效功效取決於田區內相關、遺失率及暴露組重疊程度。正式採樣前以10–12處先導田區估計變異與重測相關，再凍結功效分析與最終樣本數；若先導結果顯示只能辨識大效果，將擴充田區而不以不足功效資料宣稱無效。

八、討論

第一階段最穩健的發現是臺東監測點EC整體較高、花蓮居中、宜蘭較低，且共同年度敏感度分析維持此排序。這是後續分層抽樣的重要依據，但EC只是溶解離子總體代理，不能分辨有益礦物、海鹽、地下水、回歸水或污染來源。

公開水源資料亦否定把宜花東整體概括為溫泉水灌溉的做法。宜蘭有湧泉與地下水補充，臺東也有泉水，但主要系統仍是河川取水；花蓮同樣以兩大河川及支流為主。真正可檢驗的命題應是「特定水化學組合是否經土壤改變米質」，不是「某縣米是否因溫泉水更好」。

水管理與水溫可能影響灌漿及白堊質，淹水條件也會改變砷的生物可利用性；這些文獻提供機制合理性，卻不能替代本地同步採樣。第二階段必須特別避免產地、品種與管理方式完全共線，並將砷、鎘的食安問題與風味／食味的行銷敘事分開報告。

九、限制與研究誠信邊界

公開網頁未提供抽樣機率、完整點位座標、流量、降雨同步資料與實驗室品質控制細節；監測點選址及頻率可能具目的性。觀測數多不代表隨機代表性，因此本研究以監測點等權與敏感度分析減少、但不能消除選擇偏差。

第一階段沒有Na、Ca、Mg、K、Cl、SO₄、HCO₃、Si、B、As、Fe、Mn，不能辨識地熱／礦化指紋；也沒有土壤與稻米樣本，不能估計水—土—米相關或因果效果。本文不呈現任何虛構的蛋白質、直鏈澱粉、白堊質、RVA、食味、香氣、砷或鎘結果。

2026年資料只到3至4月，年度曲線不可當作完整年度比較。門檻超出率是網頁紀錄的描述，兩筆極高EC已標示供來源機關與後續現勘查核；不在缺乏原始檢驗單的情況下逕自更正或刪除。

十、結論

本研究建立可追溯的宜花東灌溉水公開資料庫，顯示三地水溫、pH與EC基線存在明顯差異，其中臺東EC較高且高於750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 的紀錄比例亦較高。然而，這些結果不能證明溫泉灌溉，更不能推論米質優劣。

真正回答「從水源到米質」需要60處田區、兩期作的同步水—土—米採樣與嚴格控制加工條件。本稿提供可執行的完整檢測清單、抽樣架構、品質控制及多層次路徑模型。下一個可信的里程碑不是增加敘事，而是取得先導田區、實驗室與正式採樣紀錄。

表1 地區觀測摘要

地區	觀測數	監測點	水溫	pH	EC	EC>750
宜蘭	8,625	236	24.4	7.57	290	0.12%
花蓮	3,492	98	23.1	8.20	379	0.00%
臺東	2,667	76	23.9	8.24	493	2.21%

註：EC單位為 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25°C）；比例按觀測計算。

表2 監測點等權Kruskal–Wallis比較

指標	H	df	p	epsilon squared
水溫	62.21	2	<0.001	0.148
pH	155.95	2	<0.001	0.378
EC	86.08	2	<0.001	0.207

參考資料

- 農業部農田水利署宜蘭管理處。灌溉區域與水源特性。 <https://www.iala.nat.gov.tw/zh-tw/about/Articles?a=11058>
- 農業部農田水利署宜蘭管理處。灌溉水質資訊。 <https://www.iala.nat.gov.tw/zh-tw/operations/WaterQualityInfoPage?a=10717>

3. 農業部農田水利署花蓮管理處。灌溉區域。 <https://www.iahli.nat.gov.tw/about/Articles?a=11105>
4. 農業部農田水利署花蓮管理處。灌溉水質資訊。 <https://www.iahli.nat.gov.tw/operations/WaterQualityInfoPage?a=10767>
5. 農業部農田水利署臺東管理處。灌溉區域與灌溉水源。 <https://www.iattu.nat.gov.tw/about/Articles?a=11125>
6. 農業部農田水利署臺東管理處。灌溉水質資訊。 <https://www.iattu.nat.gov.tw/zh-tw/operations/WaterQualityInfoPage?a=10817>
7. Water management during the grain-filling period affects rice grain quality due to changes in both the temperature and nitrogen content of paddy water. *Field Crops Research* (2025). <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110038>
8. Zhang, X. et al. Water management, rice varieties and mycorrhizal inoculation influence arsenic concentration and speciation in rice grains. *Mycorrhiza* 26, 299–309 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0669-9>
9. Cold water irrigation changes rice quality traits. *Agricultural Sciences in China* (2008). [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(08\)60080-3](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(08)60080-3)
10. Geochemical and isotopic characteristics of arsenic in paddy soils affected by geothermal waters in Beitou and Guandu, Taiwan. <https://scholars.lib.ntu.edu.tw/entities/publication/42b6d0d3-7895-4f3b-846a-9be49ab37c75>

資料、程式與研究揭露

本研究公開逐筆來源網址的分析資料、擷取程式、統計程式、監測點摘要與機器可讀結果。執行 `python analyze.py` 可重建統計與圖形，隨機種子固定為20260712。作者負責研究問題、資料稽核、解讀與更正；AI協助程式、整理、視覺化與文字編修。

本文件為版本1.1公開研究工作論文。CC BY 4.0僅適用於作者有權授權的原創內容；第三方資料仍依原權利狀態與來源條款。DOI：10.5281/zenodo.21338912。第二階段土壤與稻米檢測尚待執行，未被表述為已完成結果。個別極端數值均視為待查核異常值，不得延伸為稻米食品安全結論。